

地盤振動の伝播特性に関する研究—鉄軌道振動を対象として—

立命館大学理工学部 正会員 ○早川 清
同 上 正会員 竹下貞雄
大阪大学工学部 正会員 松井 保

1. はじめに：地盤は不均質な媒体であり、伝播する波動には実体波である縦波、横波および表面波の一つであるレイリー波などが存在する。しかも、それらの波動が媒質ごとに異なった伝播と形態で展開されるので、その現象は極めて複雑である。本報告では、鉄軌道振動を対象とした現地調査結果から、ジョイント部とレール中間部（ジョイントと次のジョイントとの中間部）での地盤振動の発生並びに減衰機構の相違、波動の伝播媒体である地盤の土質と振動数による減衰係数の変化などについて考察した。

2. 測定概要：測定場所は、近鉄京都線の三山木新車庫付近である。この場所の土質想定断面図から、約1kmの走行区間に土質状態の異なった3測線（A・B・C測線とする）を線路直角方向に設けた。各測線の土質は、図-1のボーリング柱状図に示すように、それぞれ測線Aは砂、測線Bは砂と粘土、測線Cは粘土が主体である。振動測定は、ジョイント部とレール中間部のそれぞれにおいて、測定側の軌道中心より3m, 6m, 10m, 15m, 20mおよび30mの位置に振動レベル計6台を設置して行った。測定成分は地表面上における鉛直方向の振動加速度レベル（VAL）であり、これをデータ・レコーダに磁気録音した。列車速度はスピードガンで測定したが、対象路線が仮線であるため速度規制されており、列車速度の変動幅は46～60km/hと比較的小さい。従って、車種による振動加速度レベルの相違はごく僅かである。以下には、測線Aの結果を中心として述べた。

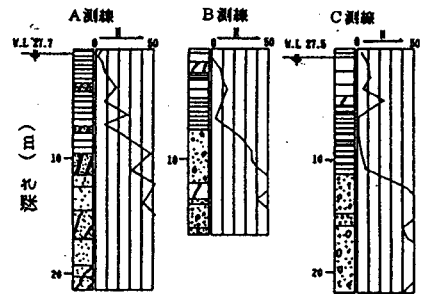


図-1 ボーリング柱状図

3. 測定結果および考察

(1) 振動加速度レベルの距離減衰：データ・レコーダに磁気録音したVAL記録をレベルレコーダのチャート紙上に再生し、列車通過時のピークレベルを読み取った。これらより求めた、A測線でのジョイント部とレール中間部における特急通過時のVALの距離減衰を比較したものが図-2である。全体的な距離減衰の傾向は-6dB/2dの直線で近似される。このことは、弾性的半空間を伝播する実体波の点振源モデルによる距離減衰を意味している。また、この図より軌道近傍では、ジョイント部のVALが、レール中間部のVALよりも約6dB大きいことが知られる。

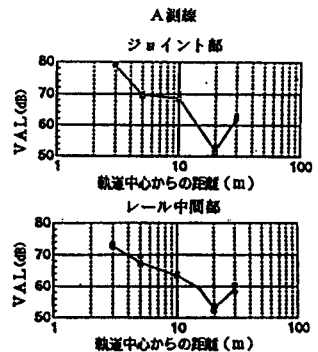


図-2 振動加速度レベルの距離減衰

(2) 振動加速度レベルのスペクトル：周波数分析装置（SA-25, ㊦製）を用いて、1/3オクターブバンドの周波数分析を行った。A測線でのジョイント部とレール中間部における特急通過時のVALのスペクトルを比較したものが図-3である。軌道近傍では、50Hz以上の周波数において、ジョイント部のVALがレール中間部のVALよりも大きくなる。特に80Hz以上の周波数では、そのレベル差が約7～10dBになることが知られる。軌道中心からの距離が20m以上になると、高域の周波数が減衰するために、ジョイント部とレール中間部のスペクトルはほとんど同一になる。

Kiyoshi HAYAKAWA, Sadao TAKESHITA, Tamotsu MATSUI

(3) 1/3オクターブバンドごとの振動加速度レベルの距離減衰：一般に、地盤振動の距離減衰は、波動の拡散による幾何的減衰と地盤の内部減衰を考慮した距離減衰式で表示される。¹⁾²⁾ 式(1)は、この距離減衰式を対数表示したものである。

$$VAL = 20 \log_{10} \{ (r/r_0)^{-n} \exp[-\alpha(r-r_0)] \} \quad (1)$$

ここに、 r_0 : 振源距離 n : 幾何減衰係数
 α : 内部減衰係数

この式中の内部減衰係数 α は、式(2)によって求められる。

$$\alpha = 2\pi f h / V_s \quad (2)$$

ここに、 f : 周波数(Hz) h : 減衰定数 V_s : S波速度(m/s)

周波数分析結果から、A測線のジョイント部の結果を代表例(特急通過時)として、1/3オクターブバンドごとのVALの距離減衰を示したものが図-4である。これらより、式(1)中の n を1とした実体波の理論減衰曲線を、実測の1/3オクターブバンドごとの距離減衰曲線と比較することにより α を求めた。図-5は、このよう

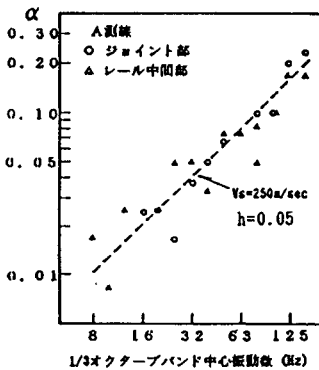


図-5 内部減衰係数と振動数の関係

にして求めた α と、式(2)中の減衰定数を0.05として求め、図中に点線で示した α の理論値とを比較したものである。横波速度 V_s は、ボーリング柱状図の平均N値から既往の V_s とN値との近似式³⁾から算定した。図の関係より、 α の周波数依存性が、今回の実測結果にも明確に見られる。一般に、土の α は0.05~0.10程度とされている。この α 値を図-5に適用してみると、32~80Hzの振動数成分の影響が大きいことになる。上述のように、列車走行によって発生する地盤振動では、40~63Hzの振動数成分が卓越する。従って、VALの距離減衰には、これらの振動数成分により定まる α 値が大きく寄与していると考えられる。

4. まとめ：地盤を伝播する波動の特性を明らかにするために、鉄軌道振動を対象とした現地調査を行った。その主な結果は次のようである。(1)振動加速度レベルの距離減衰傾向は、実体波の点振源モデルによる距離減衰に相当する-6dB/2dの直線で近似される。(2)軌道近傍では、ジョイント部の振動加速度レベルが、レール中間部の振動加速度レベルよりも約6dB大きい。これには、特に80Hz以上の周波数成分が影響している。(3)軌道中心からの距離が20m以上になると、ジョイント部とレール中間部のスペクトルはほとんど同一になる。(4)地盤振動の距離減衰における0.05~0.10の内部減衰係数は、振動数ごとに求めた内部減衰係数から、32~80Hzの振動数成分の影響の大きいことが理解される。

参考文献： 1) T.G.Gutowski and C.L.Dym (1976): Propagation of Ground Vibration : A Review, Journal of Sound and Vibration 49(2), 179-193. 2) James T. Nelson and Hugh J. Saurenman (1983): State-of-the-Art, Review Prediction and Control of Groundborne Noise and Vibration from Rail Transit Trains, UMTA-06-0049-83-4, DOT-TSC-UMT A-83-3, 5-1~5-53. 3) 例えば、土質工学会編 (1981): 土と基礎の物理探査

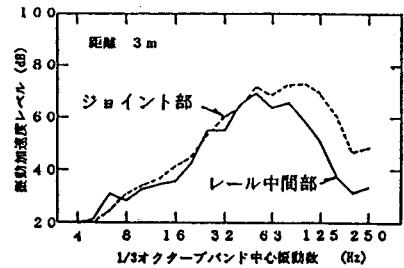


図-3 振動加速度レベルのスペクトル

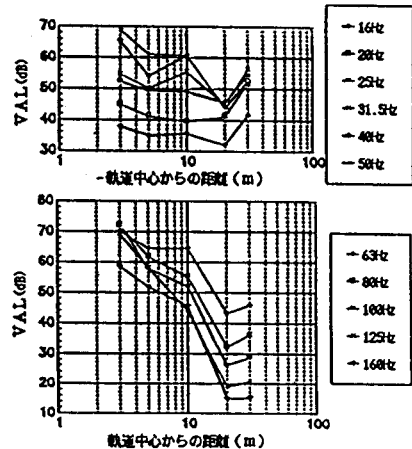


図-4 振動加速度レベルの距離減衰